

(19) RÉPUBLIQUE FRANÇAISE  
INSTITUT NATIONAL  
DE LA PROPRIÉTÉ INDUSTRIELLE  
PARIS

(11) N° de publication :  
(à n'utiliser que pour les  
commandes de reproduction)

2 766 929

(21) N° d'enregistrement national : 97 09737

(51) Int Cl<sup>6</sup> : G 01 V 1/02, G 01 V 1/16, H 04 R 1/00 // B 65 G 5/00

(12)

DEMANDE DE BREVET D'INVENTION

A1

(22) Date de dépôt : 30.07.97.

(30) Priorité :

(43) Date de mise à la disposition du public de la  
demande : 05.02.99 Bulletin 99/05.

(56) Liste des documents cités dans le rapport de  
recherche préliminaire : *Se reporter à la fin du  
présent fascicule*

(60) Références à d'autres documents nationaux  
apparentés :

(71) Demandeur(s) : ODIN DANIEL — FR.

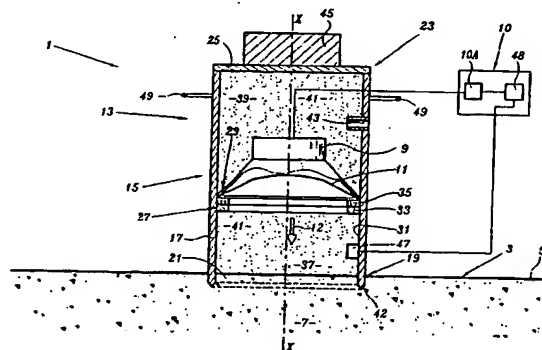
(72) Inventeur(s) : ODIN DANIEL.

(73) Titulaire(s) :

(74) Mandataire(s) : CABINET LAVOIX.

(54) SOURCE D'EXCITATION SISMIQUE POUR L'EXPLORATION D'UNE STRUCTURE GEOLOGIQUE,  
INSTALLATION D'EXPLORATION SISMIQUE D'UNE STRUCTURE GEOLOGIQUE ET EQUIPEMENT DE  
SURVEILLANCE DE CAVITES GEOLOGIQUES.

(57) L'invention concerne une source d'excitation sismique  
(1) pour l'exploration d'une structure géologique (3) telle  
que le sous-sol terrestre (7). La source (1) comprend d'une  
part un haut-parleur (9) destiné à être relié à une unité de  
commande (10), et d'autre part des moyens (13) de coupla-  
ge acoustique entre le haut-parleur (9) et la structure géolo-  
gique (3) à explorer.



FR 2 766 929 - A1



BEST AVAILABLE COPY

La présente invention se situe dans le domaine de l'exploration sismique du sous-sol terrestre, et plus spécifiquement dans le domaine de la vibrosismique. Elle est relative à une source d'excitation sismique pour l'exploration du sous-sol terrestre, à une installation d'exploration sismique du sous-sol terrestre et à un équipement de surveillance de cavités géologiques formées dans le sous-sol terrestre.

Les méthodes d'exploration sismique et des installations de mise en œuvre de ces méthodes sont largement décrites dans le livre « Méthodes sismiques » de M. Lavergne, publié en 1986 aux éditions Technip.

10 Le principe de l'exploration sismique consiste à provoquer sur le sol ou dans le sous-sol à explorer des ébranlements qui se propagent sous la forme d'ondes acoustiques dans le sous-sol. Lors de la propagation des ondes acoustiques dans le sous-sol, celles-ci subissent des phénomènes de réflexion et/ou de réfraction aux interfaces entre deux couches du sous-sol  
15 ayant des impédances acoustiques respectives différentes, c'est-à-dire des couches ayant différentes masses volumiques et/ou vitesses de propagation de l'onde acoustique. La mesure des ondes acoustiques réfléchies parvenues à la surface, leurs traitement et interprétation permettent de connaître la structure du sous-sol.

20 Les installations connues pour la mise en œuvre des mesures d'exploration du sous-sol terrestre comprennent généralement une ou plusieurs sources d'excitation sismique, un ensemble de géophones répartis selon un schéma prédéfini sur la surface du sol pour mesurer, suite à une excitation sismique générée par la ou les sources, les ondes acoustiques  
25 réfléchies, et des moyens d'enregistrement des signaux de mesure délivrés par les géophones. Par ailleurs, ces installations comprennent des moyens pour exploiter ultérieurement des signaux enregistrés pour affaiblir l'influence du bruit sismique, comme par exemple du bruit industriel ou des microséismes, sur le résultat final, et interpréter les résultats de mesure traités  
30 afin d'obtenir la structure du sous-sol exploré.

Parmi les sources d'excitation sismique, on connaît des sources impulsionnelles telles que des explosifs dont l'impulsion émise a une durée de quelques dizaines de millisecondes. Pour pouvoir développer une puissance maximale, les explosifs sont enterrés au moyen d'un poste de forage dans des trous de 3 à 15 mètres de profondeur.

L'inconvénient des sources impulsionnelles à explosifs réside notamment dans leur coût. En effet, un poste de forage pour enterrer les explosifs peut représenter à lui seul plus de la moitié du coût total d'une mission d'exploration.

Comme alternative, on connaît également une technique connue sous le nom "vibrosismique". Dans cette technique, on utilise comme source d'excitation sismique des vibrateurs tels que des camions vibrateurs émettant des signaux longs de plusieurs secondes de durée et présentant la particularité de balayer une large bande de fréquences, par exemple entre 10 et 70Hz.

Les camions vibrateurs connus comportent typiquement une plaque pulsante actionnée par un système de servofreins hydrauliques. Au point de vibration, on abaisse la plaque pulsante de sorte que celle-ci est en contact avec le sol et que la totalité du poids du camion appuie sur cette plaque. Une excitation sismique d'une dizaine de secondes balayant une certaine plage de fréquences est alors envoyée dans le sol par l'action des servofreins, et les ondes acoustiques réfléchies aux interfaces de la structure géologique sont mesurées par les géophones dont les signaux de sortie sont ensuite enregistrés. Après avoir répété cette opération plusieurs fois, le camion vibreur est déplacé vers un nouveau point de vibration et on effectue de nouvelles mesures.

Certes, les camions vibrateurs utilisés dans la vibrosismique sont généralement moins chers et d'une utilisation plus souple que les sources à explosifs.

Cependant, ces camions vibrateurs présentent plusieurs inconvénients. Tout d'abord, le prix des camions vibrateurs en vibrosismique

est encore assez élevé, d'autant plus que souvent, pour obtenir des résultats satisfaisants, il faut utiliser plusieurs camions à la fois, vibrant simultanément.

De plus, malgré le poids important d'un camion vibreur qui est généralement compris entre 15t et 20t, le couplage des vibrations au sol par l'intermédiaire de la plaque pulsante est souvent imparfait du fait des irrégularités du sol, telles que des parties en relief ou en creux, en particulier quand il s'agit d'un sol dur comme un sol rocheux ou une route pavée ou goudronnée, car l'excitation sismique n'est transmise que par les parties du sol en contact avec la plaque pulsante.

En outre, lors de l'émission d'une excitation sismique, le camion vibreur génère non seulement une excitation sismique utile, mais aussi du bruit de surface qui ne contient pas d'informations sur les structures profondes du sous-sol. Ce bruit arrivant le premier au géophones après l'excitation sismique et ayant une durée non négligeable possède généralement une amplitude si forte que les signaux utiles générés par les ondes réfléchies et arrivant en même temps que ce bruit sont noyés dans celui-ci. Par conséquent, la première période de mesure contenant ce bruit de surface est difficilement exploitable de sorte qu'une bonne résolution des structures du sous-sol à faible profondeur, c'est-à-dire jusqu'à une profondeur d'environ 40m, ne peut pas être obtenue.

La présente invention vise à pallier ces divers inconvénients en proposant une source d'excitation sismique économique, facile à utiliser et qui permette une excitation sismique efficace et avec peu de bruit de surface pour pouvoir obtenir en particulier une bonne résolution des structures du sous-sol à faible profondeur.

A cet effet, l'invention a pour objet une source d'excitation sismique pour l'exploration d'une structure géologique telle que le sous-sol terrestre, caractérisée en ce qu'elle comprend d'une part un haut-parleur destiné à être relié à une unité de commande, et d'autre part des moyens de couplage acoustique entre le haut-parleur et la structure géologique à explorer.

La source d'excitation sismique selon l'invention peut de plus comporter une ou plusieurs des caractéristiques suivantes :

- ledit haut-parleur est un haut-parleur à membrane;
- les moyens de couplage acoustique comprennent un fluide de couplage destiné à être mis en contact par l'intermédiaire de moyens de confinement à la fois avec la membrane du haut-parleur et avec la structure géologique à explorer de manière qu'une énergie acoustique émise par le haut-parleur soit transmise à travers le fluide de couplage à la structure géologique à explorer,
- le fluide de couplage est un gaz,
- le fluide de couplage est un liquide,
- les moyens de couplage acoustique comprennent une enceinte formant lesdits moyens de confinement du fluide de couplage, le haut-parleur est fixé de façon étanche par sa périphérie à la paroi interne de l'enceinte de sorte que celle-ci est divisée par le haut-parleur en une chambre avant et en une chambre arrière, et la chambre avant comporte, en face du haut-parleur, une ouverture de sortie par laquelle le fluide de couplage est en contact avec la structure géologique à explorer,
- l'ouverture de sortie de l'enceinte possède un diamètre à peu près égal ou supérieur au diamètre de la membrane du haut-parleur,
- l'enceinte comporte au niveau de la chambre arrière un événement,
- l'enceinte est un tube dans lequel le haut-parleur est fixé de façon sensiblement perpendiculaire à l'axe (X) du tube, dont l'extrémité arrière est fermée et dont l'extrémité avant est ouverte pour former ladite ouverture de sortie,
- la distance entre la membrane du haut-parleur et l'ouverture de sortie de la chambre avant est inférieure au diamètre de la membrane du haut-parleur,
- le tube formant enceinte est un tube métallique,
- le tube formant enceinte est un tube en matière plastique,

- dans le cas où le fluide de couplage est destiné à être en contact avec une couche géologique dure de la structure géologique, le tube formant enceinte comporte à son extrémité avant ouverte un bord périphérique pourvu d'une couche annulaire d'un matériau d'absorption des vibrations de l'enceinte et d'étanchéité entre ledit bord et la structure géologique,

- dans le cas où le fluide de couplage est destiné à être en contact avec une couche géologique meuble de la structure géologique, le tube formant enceinte comporte à son extrémité avant ouverte un bord annulaire périphérique effilé destiné à pénétrer dans la couche géologique meuble en vue d'assurer le couplage entre ladite source et ladite couche meuble,

- le tube formant enceinte est lesté par un poids anti-vibration,

- le haut-parleur possède une puissance nominale supérieure à 400W et notamment supérieure à 600W,

- la source est amovible pour une exploration de la structure géologique par déplacements successifs de ladite source,

- la source est enterrée à demeure dans le sous-sol terrestre pour une surveillance de longue durée de celui-ci.

De plus, l'invention a pour objet une installation d'exploration sismique d'une structure géologique comprenant au moins une source d'excitation sismique destinée à être en contact avec la structure géologique à explorer, un ensemble de géophones destinés à être répartis selon un schéma prédéfini sur la structure géologique pour relever des réponses à une excitation sismique générée par la ou lesdites sources et pour transformer ces réponses en des signaux de sortie, une unité d'enregistrement desdits signaux délivrés par les géophones et une unité d'exploitation des signaux enregistrés, caractérisée en ce que ladite ou chaque source d'excitation sismique est une source telle que définie ci-dessus, et en ce qu'elle comprend une unité de commande du ou de chaque haut-parleur.

L'installation d'exploration sismique d'une structure géologique selon l'invention peut de plus comporter une ou plusieurs des caractéristiques suivantes :

- ladite unité de commande comprend un générateur à balayage en fréquence,

- le spectre du ou des signaux issus dudit générateur à balayage en fréquence et commandant le ou les haut-parleurs est sensiblement plat dans la plage de fréquences comprise entre 10 et 300Hz, et

- la source comprend, relié à l'unité de commande, un détecteur des ondes acoustiques émises par le haut-parleur et l'unité de commande comprend des moyens pour corriger le signal de commande émis vers le haut-parleur en fonction du signal mesuré par ledit détecteur.

Enfin, l'invention a pour objet un équipement de surveillance d'une cavité géologique telle qu'une cavité utilisée en tant que réservoir de stockage de gaz, caractérisé en ce qu'il comprend une installation d'exploration sismique telle que définie ci-dessus dans laquelle ladite au moins une source d'excitation sismique est une source enterrée disposée au dessus de ladite cavité géologique.

D'autres caractéristiques et avantages de l'invention ressortiront de la description suivante, donnée à titre d'exemple, sans caractère limitatif, en regard des dessins annexés sur lesquels :

La figure 1 est une vue schématique en coupe d'une source d'excitation sismique selon l'invention,

La figure 2 est un schéma d'une installation d'exploration sismique d'une structure géologique selon l'invention, et

La figure 3 est un schéma d'un équipement de surveillance de cavités géologiques selon l'invention.

Sur la figure 1 est représentée une source d'excitation sismique 1 selon l'invention. Cette source 1 est en contact avec une structure géologique 3 à explorer, telle qu'un sol 5 et un sous-sol 7 terrestres.

D'une part, la source 1 comprend un haut-parleur 9 à membrane relié à une unité 10 de commande pour émettre, par le déplacement de sa membrane 11, des ondes acoustiques en direction du sol 5. Le sens

d'émission d'ondes acoustiques du haut-parleur 9 est indiqué par une flèche 12.

Le haut-parleur 9 possède typiquement une puissance nominale supérieure à 400W et notamment supérieure à 600W. Plus la puissance du haut-parleur 9 est élevée, plus la profondeur d'exploration de la structure géologique 3 est importante.

L'unité 10 de commande comprend par exemple un générateur 10A à balayage dont le signal de commande du haut-parleur est un signal sinusoïdal sans distorsion balayant par exemple les fréquences entre 10 et 300Hz et qui possède dans cette plage de fréquences un spectre sensiblement plat. Lors des mesures, la plage des fréquences balayées est adaptée en fonction de la structure du sous-sol 7 à explorer.

D'autre part, la source 1 comprend des moyens 13 de couplage acoustique entre le haut-parleur 9 et la structure géologique 3.

Ces moyens 13 de couplage acoustique entre le haut-parleur 9 et la structure géologique 3 comprennent une enceinte 15 formée par un tube 17 dans lequel le haut-parleur 9 est fixé de façon sensiblement perpendiculaire à l'axe  $X$  du tube 17. Le tube 17 est réalisé en métal ou en matière plastique. Son extrémité avant 19, vue par rapport au sens d'émission 12, est ouverte pour former une ouverture 21 de sortie des ondes acoustiques émises par le haut-parleur 9, tandis que son extrémité opposée, c'est-à-dire l'extrémité arrière 23, est fermée par un flan 25 soudé au tube 17.

Pour donner un exemple de dimensions, le tube 17 possède un diamètre de 60cm et une hauteur de 90cm.

On note en outre que le diamètre interne du tube 17, et par conséquent le diamètre de l'ouverture de sortie 21, est à peu près égal au diamètre de la membrane 11. Mais on prévoit aussi des modes de réalisation dans lesquels le diamètre de l'ouverture de sortie 21 est supérieur au diamètre de la membrane 11.

De plus, la distance entre l'ouverture de sortie 21 et la membrane 11 du haut-parleur 9 est inférieure au diamètre de la membrane 11.



La fixation du haut-parleur 9 dans le tube 17 est assurée par des moyens 27 adaptés pour fixer de façon étanche la périphérie 29 du haut-parleur 9 à la paroi interne 31 du tube 17. Ces moyens 27 comprennent par exemple une bague 33 en un même matériau que le tube, soudée à la paroi interne 31. La périphérie 29 du haut-parleur 9 repose sur cette bague 33 par l'intermédiaire d'un joint d'étanchéité 35 interposé et est fixée sur celle-ci par exemple par des vis non représentées.

Ainsi, l'enceinte 15 formée par le tube 17 fermé à l'extrémité arrière 23 est divisée en une chambre avant 37 et une chambre arrière 39.

10 Chaque chambre 37, 39 est remplie d'air 41.

En fonctionnement et comme représenté sur la figure 1, l'extrémité avant 19 du tube 17 est en contact sensiblement étanche avec la structure géologique 3 à explorer pour assurer le confinement de l'air 41 contenu dans la chambre avant 37.

15 Dans l'exemple de réalisation représenté sur la figure 1, le sol 5 est un sol meuble. Le contact sensiblement étanche de l'extrémité avant 19 du tube 17 est réalisé par enfoncement de l'extrémité avant 19 du tube 17 dans le sol 5. Pour faciliter l'enfoncement, l'extrémité avant 19 possède un bord 42 effilé. En enfonçant l'extrémité avant 19 du tube 17 dans le sol 5, on vise également à empêcher l'enceinte 15 de vibrer afin que seules les ondes acoustiques émises par le haut-parleur 9 soient transmises à la structure géologique 3.

20 Dans le cas d'un sol dur tel que par exemple une surface rocheuse, une surface pavée ou goudronnée, on prévoit de munir le bord 42 d'une mousse (non-représentée). Cette mousse permet d'une part de réaliser un contact sensiblement étanche et d'autre part d'empêcher la transmission des vibrations de l'enceinte 15 à la structure 3.

Du fait que l'air est confiné dans la chambre avant 37, l'air agit comme fluide de couplage entre la membrane 11 du haut-parleur 9 et le sol 5 avec lesquels elle est en contact, et transmet ainsi les ondes acoustiques émises par le haut-parleur 9 à la structure 3 à explorer. Le contact avec le sol

30

5 peut être un contact direct, mais aussi, en variante, un contact indirect par exemple par l'intermédiaire d'une feuille flexible en matière plastique.

L'utilisation d'un fluide de couplage confiné garantit une transmission efficace et homogène de l'énergie acoustique émise par le haut-parleur 9 à la structure 3 géologique à explorer, ceci sans pertes dues aux irrégularités du sol.

En variante, on prévoit comme fluide de couplage un liquide comme par exemple de l'eau et on assure l'étanchéité de la chambre avant 37 par rapport au sol 5 par des moyens adaptés afin que l'eau confinée dans cette chambre 37 ne puisse pas fuir vers l'extérieur.

Par ailleurs, le tube 17 comporte dans sa paroi interne 31 au niveau de la chambre arrière 39 un évent 43.

Comme moyen anti-vibration supplémentaire du tube 17, celui-ci est lesté à son extrémité arrière 23 par un poids anti-vibration 45 porté par le flan 25. En variante, on prévoit de réaliser le tube 17 en un matériau lourd et avec une paroi épaisse de sorte que le poids anti-vibration est constitué par le poids propre du tube 17.

En outre, la chambre avant 37 de l'enceinte 15 comprend, installé contre la paroi interne 31, un détecteur 47 des ondes acoustiques émises par le haut-parleur 9. Ce détecteur 47 est relié à des moyens 48 de l'unité 10 de commande pour corriger le signal de commande émis vers le haut-parleur 9 en fonction du signal mesuré par le détecteur 47.

Du fait de ses dimensions et de son poids, on comprend que la source selon l'invention peut être déplacée facilement de sorte qu'elle est bien adaptée pour l'exploration du sous-sol par déplacements successifs. Afin de faciliter son déplacement, la source 1 comporte en outre des poignées 49.

Par ailleurs, l'utilisation de la source selon l'invention permet d'éviter les dégâts usuellement occasionnés du sol lors de l'utilisation de camions vibreurs et entraînant le paiement de dédommagements ce qui peut aussi accroître le coût final d'une mission d'exploration sismique.

Sur la figure 2, on a représenté de façon schématique une structure géologique 3 comprenant la surface 50 du sol 5 et trois couches 52, 53 et 54 ayant des impédances acoustiques respectives différentes de sorte que la structure 3 présente deux interfaces 55 et 56 qui constituent chacune un réflecteur pour des ondes acoustiques.

En outre, on a représenté schématiquement une installation 60 d'exploration sismique de cette structure géologique 3.

L'installation 60 comprend la source d'excitation sismique 1 à haut-parleur en contact avec le sol 5 et l'unité 10 de commande du haut-parleur 9 décrites en référence à la figure 1.

De plus, l'installation 60 comprend un ensemble de géophones 62, par exemple au nombre de vingt-quatre dont seulement dix sont représentés, répartis symétriquement de part et d'autre de la source 1 le long d'une ligne sur la surface 50 du sol 5 pour mesurer les ondes acoustiques réfléchies aux interfaces 55 et 56. Les géophones sont espacés les uns des autres de 6m.

Les géophones 62 sont reliés à une unité 64 d'enregistrement des signaux délivrés par les géophones en réponse à une onde acoustique détectée.

Cette unité 64 est en plus reliée à l'unité 10 de commande du haut-parleur 9 pour d'une part enregistrer le signal de commande émis, nécessaire pour une corrélation ultérieure de ce signal avec des signaux mesurés par les géophones 62, et d'autre part pour synchroniser l'enregistrement des signaux avec l'émission du signal d'excitation sismique.

De plus, l'installation 60 comprend, reliée à l'unité 64, une unité 66 d'exploitation des signaux de mesure enregistrés. Cette liaison n'est pas forcément une liaison permanente. En effet, on prévoit que l'unité 66 est géographiquement éloignée du terrain de mesure pour exploiter ultérieurement les signaux de mesure enregistrés.

On décrira ci-après le fonctionnement de la source 1 et de l'installation 60 en référence aux figures 1 et 2.

On installe la source 1 ainsi que les géophones 62 à des emplacements géographiquement bien définis sur la structure géologique 3 à explorer.

Pour la mesure proprement dite, l'unité 10 émet un signal de balayage vers le haut-parleur 9 qui le transforme par l'intermédiaire de sa membrane 11 en ondes acoustiques. L'énergie acoustique émise est couplée par l'air 41 confiné dans la chambre avant 37 au sol et au sous-sol à explorer, ceci avec une efficacité élevée.

Sur la figure 2, on a représenté en outre comme exemple deux ondes acoustiques 70 et 72 réfléchies respectivement par les interfaces 55 et 56. On remarque que l'onde 72 subit en outre une réfraction à l'interface 55.

Les ondes acoustiques réfléchies 70 et 72 sont mesurées par les géophones 62, et les signaux de mesure délivrés par ces derniers sont ensuite enregistrés dans l'unité 64.

Ces mesures sont répétées plusieurs fois en déplaçant la source 1 et/ou les géophones 62.

Finalement, les signaux de mesure enregistrés sont exploités de façon connue (voir par exemple « Méthodes sismiques » de Lavergne publiée aux éditions Technip 1986) dans l'unité 66 pour déterminer la structure du sous-sol exploré.

Les premiers essais de la source 1 et de l'installation d'exploitation sismique 60 selon l'invention ont montré que la structure du sous-sol à faible profondeur, c'est-à-dire inférieure à 40m, peut être déterminée avec une bonne précision. Cette bonne résolution à faible profondeur est notamment utile pour localiser et suivre par exemple des nappes phréatiques notamment dans des zones désertiques. Avec les vibrateurs connus tels que des camions vibrateurs décrits dans l'introduction, une telle détermination de la structure du sous-sol à faible profondeur était pratiquement impossible du fait du bruit de surface généré par le camion vibrateur lui-même.

De plus, avec une puissance nominale des haut-parleurs de 600W, on a pu déterminer des structures situées jusqu'à une profondeur d'environ 400m.

5 Sur la figure 3 est représenté un équipement de surveillance 80 d'une cavité géologique 82 telle qu'une cavité géologique naturelle utilisée en tant que réservoir de stockage de gaz et qui se trouve typiquement à une profondeur comprise entre 350m et 400m.

Cet équipement 80 comprend une installation 60 d'exploitation sismique analogue à celle décrite en référence à la figure 2 et qui ne s'en  
10 distingue que par les points suivants.

L'installation 60 de l'équipement 80 comprend, à la différence de l'installation de la figure 2, quatre sources 1 d'excitation sismique à haut-parleur telles que décrites en référence à la figure 1.

Pour la surveillance de longue durée de la cavité 82, ces sources  
15 1 sont enterrées à demeure à une profondeur de 20m au dessus de la voûte de la cavité 82, mais on peut également les enterrer à une profondeur supérieure à 20m. L'enterrement des sources 1 présente l'avantage de pouvoir s'affranchir plus facilement des bruits de surface comme des bruits industriels.

20 Cet équipement 80 fonctionne de façon analogue à celle de l'installation 60 de la figure 2.

La surveillance longue durée de la cavité 82 permet non seulement de contrôler pour des raisons de sécurité des mouvements géologiques, mais aussi de contrôler le niveau de remplissage en gaz de la  
25 cavité 82.

Bien entendu, les explorations sismiques à deux voire trois dimensions sont également réalisables avec la source et l'installation d'exploration sismique selon l'invention.

## REVENDEICATIONS

1. Source d'excitation sismique (1) pour l'exploration d'une structure géologique (3) telle que le sous-sol terrestre (7), caractérisée en ce qu'elle comprend d'une part un haut-parleur (9) destiné à être relié à une unité de commande (10), et d'autre part des moyens (13) de couplage acoustique entre le haut-parleur (9) et la structure géologique (3) à explorer.

2. Source d'excitation sismique selon la revendication 1, caractérisée en ce que ledit haut-parleur (9) est un haut-parleur à membrane.

3. Source d'excitation sismique selon la revendication 2, caractérisée en ce que les moyens (13) de couplage acoustique comprennent un fluide (41) de couplage destiné à être mis en contact par l'intermédiaire de moyens (15) de confinement à la fois avec la membrane (11) du haut-parleur (9) et avec la structure géologique (3) à explorer de manière qu'une énergie acoustique émise par le haut-parleur (9) soit transmise à travers le fluide de couplage (41) à la structure géologique (3) à explorer.

4. Source d'excitation sismique selon la revendication 3, caractérisée en ce que le fluide de couplage (41) est un gaz.

5. Source d'excitation sismique selon la revendication 3, caractérisée en ce que le fluide de couplage (41) est un liquide.

6. Source d'excitation sismique selon l'une quelconque des revendications 3 à 5, caractérisée en ce que les moyens de couplage acoustique (13) comprennent une enceinte (15) formant lesdits moyens de confinement du fluide de couplage (41), en ce que le haut-parleur (9) est fixé de façon étanche par sa périphérie (29) à la paroi interne (31) de l'enceinte (15) de sorte que celle-ci est divisée par le haut-parleur (9) en une chambre avant (37) et en une chambre arrière (39), et en ce que la chambre avant (37) comporte, en face du haut-parleur (9), une ouverture (21) de sortie par laquelle le fluide (41) de couplage est en contact avec la structure géologique (3) à explorer.

7. Source d'excitation sismique selon la revendication 6, caractérisée en ce que l'ouverture de sortie (21) de l'enceinte (15) possède un

diamètre à peu près égal ou supérieur au diamètre de la membrane (11) du haut-parleur (9).

8. Source d'excitation sismique selon la revendication 6 ou 7, caractérisée en ce que l'enceinte (15) comporte au niveau de la chambre  
5 arrière (39) un évent (43).

9. Source d'excitation sismique selon l'une quelconque des revendications 6 à 8, caractérisée en ce que l'enceinte (15) est un tube (17) dans lequel le haut-parleur (9) est fixé de façon sensiblement perpendiculaire à l'axe (X) du tube (17), dont l'extrémité arrière (23) est fermée et dont  
10 l'extrémité avant (19) est ouverte pour former ladite ouverture de sortie (21).

10. Source d'excitation sismique selon la revendication 9, caractérisée en ce que la distance entre la membrane (11) du haut-parleur (9) et l'ouverture de sortie (21) de la chambre avant (37) est inférieure au diamètre de la membrane (11) du haut-parleur (9).

15 11. Source d'excitation sismique selon la revendication 9 ou 10, caractérisée en ce que le tube (17) formant enceinte (15) est un tube métallique.

12. Source d'excitation sismique selon la revendication 9 ou 10, caractérisée en ce que le tube (17) formant enceinte (15) est un tube en  
20 matière plastique.

13. Source d'excitation sismique selon l'une quelconque des revendications 9 à 12 dans laquelle le fluide de couplage (41) est destiné à être en contact avec une couche géologique dure de la structure géologique (3), caractérisée en ce que le tube (17) formant enceinte (15) comporte à son  
25 extrémité avant (19) ouverte un bord (42) périphérique pourvu d'une couche annulaire d'un matériau d'absorption des vibrations de l'enceinte (15) et d'étanchéité entre ledit bord (42) et la structure géologique (3).

14. Source d'excitation sismique selon l'une quelconque des revendications 9 à 12 dans laquelle le fluide de couplage (41) est destiné à  
30 être en contact avec une couche géologique meuble (5) de la structure géologique (3), caractérisée en ce que le tube (17) formant enceinte (15)

comporte à son extrémité avant (19) ouverte un bord (42) annulaire périphérique effilé destiné à pénétrer dans la couche géologique meuble (5) en vue d'assurer le couplage entre ladite source (1) et ladite couche meuble (5).

5           15. Source d'excitation sismique selon l'une quelconque des revendications 9 à 14, caractérisée en ce que le tube (17) formant enceinte (15) est lesté par un poids (45) anti-vibration.

10           16. Source d'excitation sismique selon l'une quelconque des revendications 1 à 15, caractérisée en ce que le haut-parleur (9) possède une puissance nominale supérieure à 400W et notamment supérieure à 600W.

          17. Source d'excitation sismique selon l'une quelconque des revendications 1 à 16, caractérisée en ce qu'elle est amovible pour une exploration de la structure géologique (3) par déplacements successifs de ladite source (1).

15           18. Source d'excitation sismique selon l'une quelconque des revendications 1 à 16, caractérisée en ce qu'elle est enterrée à demeure dans le sous-sol terrestre (7) pour une surveillance de longue durée de celui-ci.

          19. Installation d'exploration sismique d'une structure géologique (3) comprenant au moins une source (1) d'excitation sismique destinée à être  
20           en contact avec la structure géologique (3) à explorer, un ensemble de géophones (62) destinés à être répartis selon un schéma prédéfini sur la structure géologique (3) pour relever des réponses à une excitation sismique générée par la ou lesdites sources (1) et pour transformer ces réponses en  
25           des signaux de sortie, une unité d'enregistrement (64) desdits signaux délivrés par les géophones (62) et une unité d'exploitation (66) des signaux enregistrés, caractérisée en ce que ladite ou chaque source d'excitation sismique (1) est une source selon l'une quelconque des revendications 1 à 18, et en ce qu'elle comprend une unité (10) de commande du ou de chaque haut-parleur.

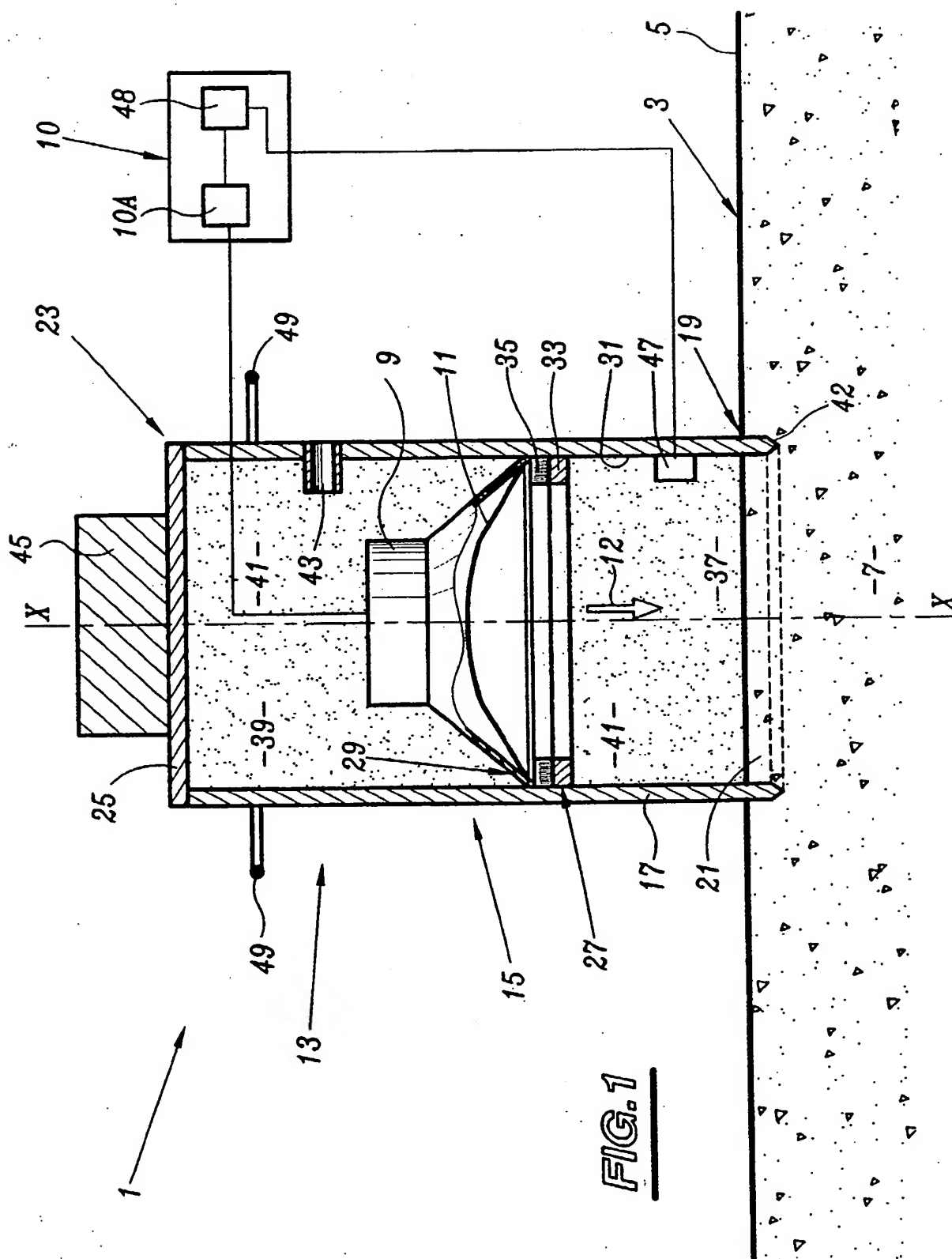


20. Installation selon la revendication 19, caractérisée en ce que ladite unité de commande (10) comprend un générateur (10A) à balayage en fréquence.

21. Installation selon la revendication 20, caractérisée en ce que  
5 le spectre du ou des signaux issus dudit générateur (10A) à balayage en fréquence et commandant le ou les haut-parleurs (9) est sensiblement plat dans la plage de fréquences comprise entre 10 et 300Hz.

22. Installation selon l'une quelconque des revendications 19 à 21, caractérisée en ce que la source (1) comprend , relié à l'unité de  
10 commande (10), un détecteur (47) des ondes acoustiques émises par le haut-parleur (9) et l'unité de commande (10) comprend des moyens (48) pour corriger le signal de commande émis vers le haut-parleur (9) en fonction du signal mesuré par ledit détecteur (47).

23. Equipement (80) de surveillance d'une cavité géologique (82)  
15 telle qu'une cavité utilisée en tant que réservoir de stockage de gaz, caractérisé en ce qu'il comprend une installation (60) selon l'une quelconque des revendications 19 à 22 dans laquelle ladite au moins une source d'excitation sismique (1) est une source enterrée selon la revendication 18 disposée au dessus de ladite cavité géologique (82).



2/3

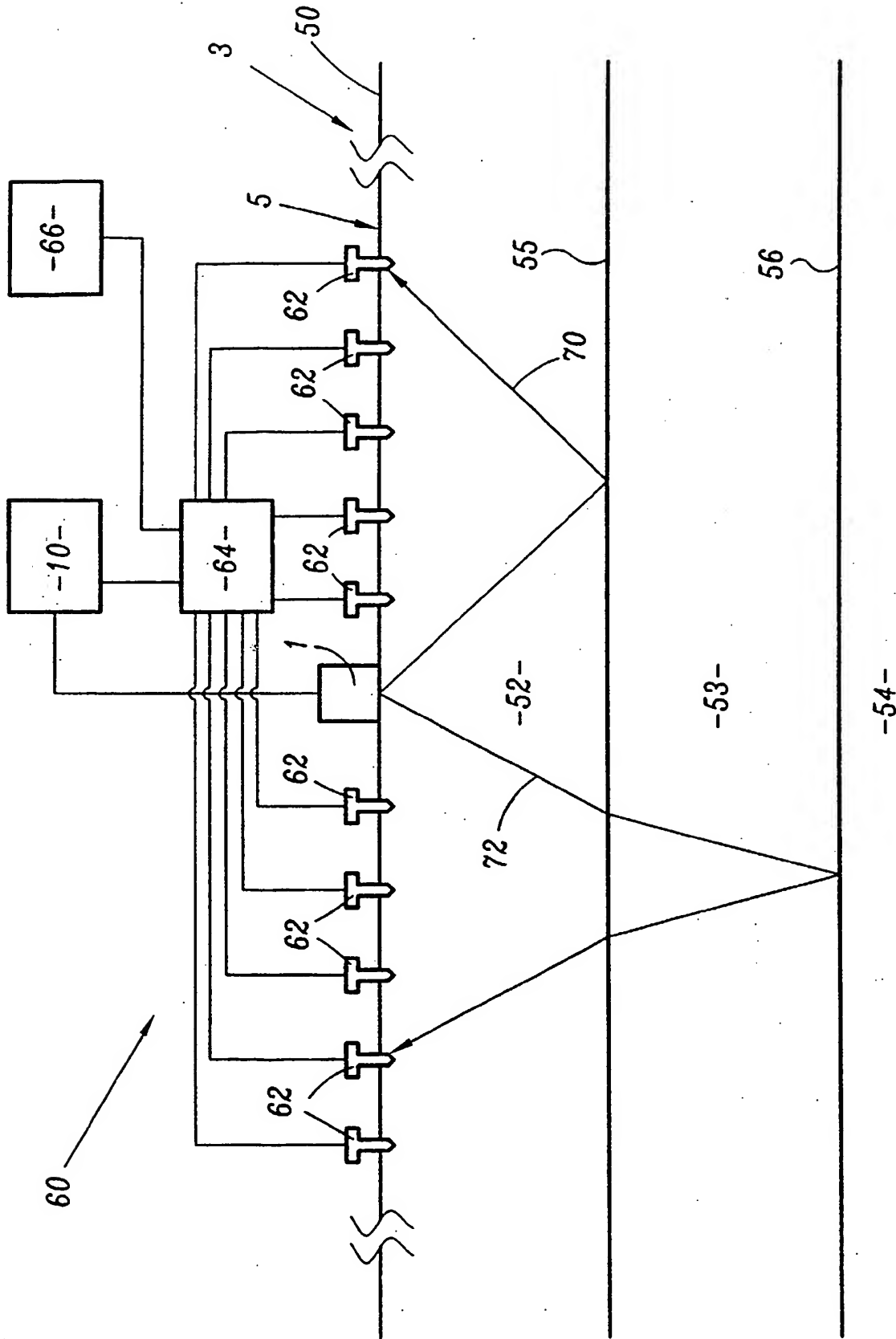
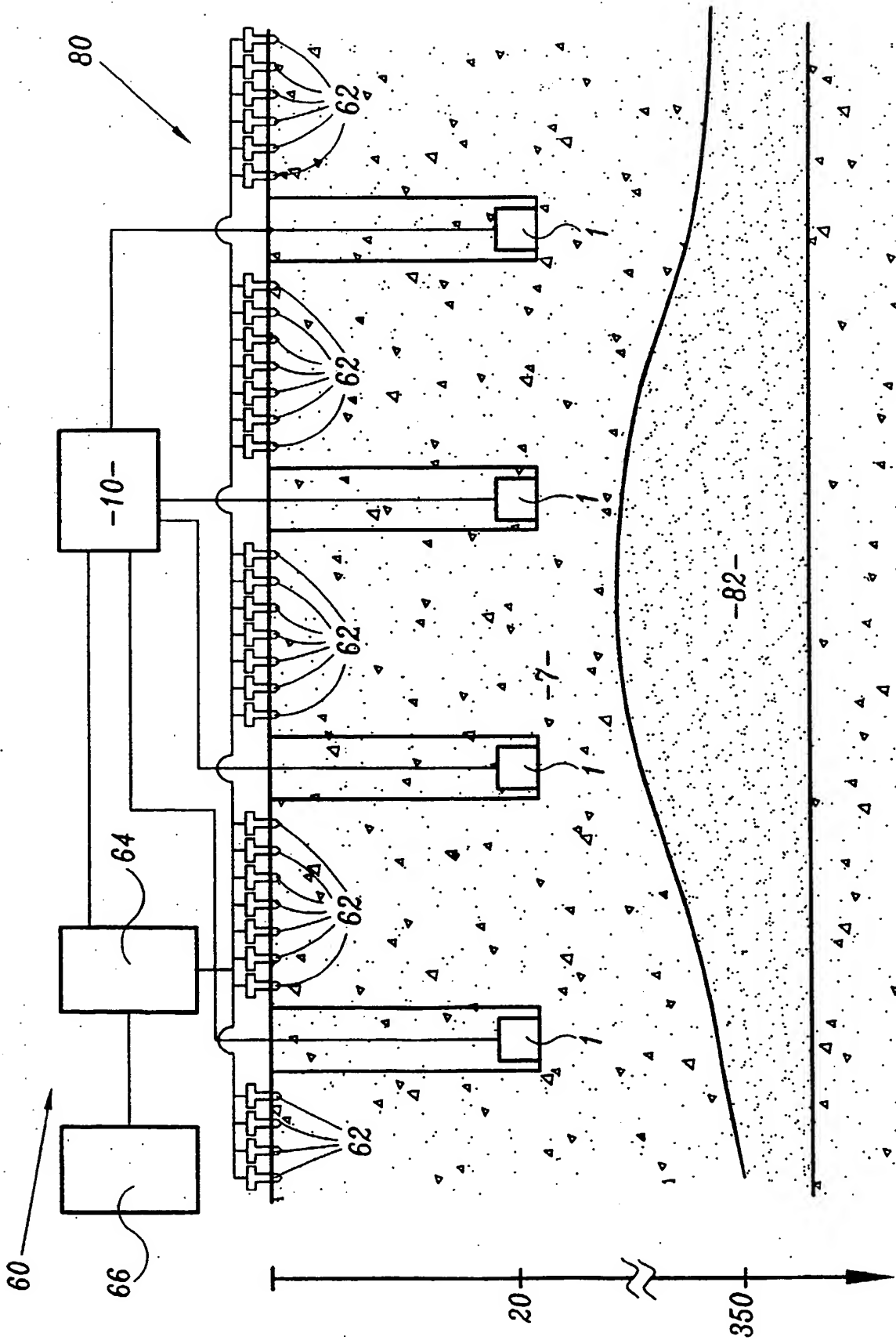


FIG. 2



**FIG. 3**

Profondeur  
en m.

REPUBLIQUE FRANÇAISE

INSTITUT NATIONAL  
de la  
PROPRIETE INDUSTRIELLE

RAPPORT DE RECHERCHE  
PRELIMINAIRE

établi sur la base des dernières revendications  
déposées avant le commencement de la recherche

2766929

N° d'enregistrement  
national

FA 546038  
FR 9709737

DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS		Revendications concernées de la demande examinée
Catégorie	Citation du document avec indication, en cas de besoin, des parties pertinentes	
X	US 5 563 848 A (ROGERS ANDREW J ET AL) 8 octobre 1996 * abrégé * * figures 1,2 * * colonne 2, ligne 19 - colonne 2, ligne 49 *	1-3
X	US 5 357 063 A (HOUSE LARRY J ET AL) 18 octobre 1994 * abrégé * * figures 1,3 *	1-4
A	* colonne 5, ligne 17 - ligne 31 * * revendications 1-4,6,8 *	14,16
X	DE 39 13 178 C (THYSSEN) 12 juillet 1990 * abrégé * * revendication 1 * * figure *	1
A	US 3 670 299 A (KAHN JAY DEE C) 13 juin 1972 * abrégé * * figures 1,2 * * colonne 1, ligne 10 - colonne 2, ligne 27 *	5
A	US 5 307 418 A (SUMITANI YOICHIRO) 26 avril 1994 * abrégé * * figure 3 *	6
A	GB 2 043 896 A (SEISMOGRAPH SERVICE ENGLAND) 8 octobre 1980 * abrégé * * figure 2 *	15
-/--		
Date d'achèvement de la recherche		Examineur
27 avril 1998		de Heering, Ph.
<p>CATEGORIE DES DOCUMENTS CITES</p> <p>X : particulièrement pertinent à lui seul Y : particulièrement pertinent en combinaison avec un autre document de la même catégorie A : pertinent à l'encontre d'au moins une revendication ou arrière-plan technologique général O : divulgation non-écrite P : document intercalaire</p> <p>T : théorie ou principe à la base de l'invention E : document de brevet bénéficiant d'une date antérieure à la date de dépôt et qui n'a été publié qu'à cette date de dépôt ou qu'à une date postérieure. D : cité dans la demande L : cité pour d'autres raisons &amp; : membre de la même famille, document correspondant</p>		

REPUBLIQUE FRANÇAISE

INSTITUT NATIONAL  
de la  
PROPRIETE INDUSTRIELLE

RAPPORT DE RECHERCHE  
PRELIMINAIRE

établi sur la base des dernières revendications  
déposées avant le commencement de la recherche

2766929

N° d'enregistrement  
national

FA 546038  
FR 9709737

DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS		Revendications concernées de la demande examinée
Catégorie	Citation du document avec indication, en cas de besoin, des parties pertinentes	
A	US 5 461 594 A (MOUGENOT DENIS ET AL) 24 octobre 1995 * abrégé * * figure *  -----	18
		DOMAINES TECHNIQUES RECHERCHES (Int.CL.6)
Date d'achèvement de la recherche 27 avril 1998		Examineur de Heering, Ph.
<div>CATEGORIE DES DOCUMENTS CITES</div> <div>X : particulièrement pertinent à lui seul Y : particulièrement pertinent en combinaison avec un autre document de la même catégorie A : pertinent à l'encontre d'au moins une revendication ou arrière-plan technologique général O : divulgation non-écrite P : document intercalaire</div> <div>T : théorie ou principe à la base de l'invention E : document de brevet bénéficiant d'une date antérieure à la date de dépôt et qui n'a été publié qu'à cette date de dépôt ou qu'à une date postérieure. D : cité dans la demande L : cité pour d'autres raisons &amp; : membre de la même famille, document correspondant</div>		

This Page is inserted by IFW Indexing and Scanning  
Operations and is not part of the Official Record

## BEST AVAILABLE IMAGES

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

- ☐ BLACK BORDERS
- ☐ IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES
- ☐ FADED TEXT OR DRAWING
- ☐ BLURED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING
- ☐ SKEWED/SLANTED IMAGES
- ☒ COLORED OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS
- ☐ GRAY SCALE DOCUMENTS
- ☐ LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT
- ☐ REPERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY
- ☐ OTHER: \_\_\_\_\_

**IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.**

**As rescanning documents *will not* correct images problems checked, please do not report the problems to the IFW Image Problem Mailbox**